

ИНИЦИИРОВАНИЕ ФТДО И СМЕСЕЙ НА ЕГО ОСНОВЕ СИЛЬНОТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Лысык В.В., Турлыбекулы А., Липовка А.А.

Научный руководитель: Олешко В. И., д.ф.-м.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lvv1287@gmail.com

Введение

Эндотермическое вещество фуразанотетразин диоксид ($C_2N_6O_3$, ФТДО), обладающее высокой энтальпией образования (4200 кДж/кг), представляет большой интерес в качестве перспективного высокоэнергетического материала [1]. Однако его практическое использование затруднено в связи с высокой чувствительностью к механическим воздействиям, сопоставимой с чувствительностью азидов свинца. Для преодоления этого препятствия предложено кристаллизовать ФТДО в смеси с динитродиазепентаном ($C_3H_8N_4O_4$, ДНП). Ранее были получены данные [2] по энергетическим порогам (H , Дж/см²) электронно-пучкового инициирования ФТДО и смесей ФТДО/ДНП с содержанием ФТДО 49 и 65 вес.%. Особенности процесса импульсного радиационного воздействия на энергетические материалы дает возможность более полно формулировать механизм их взрывного превращения.

В настоящей работе изучены закономерности и особенности электронно-пучкового инициирования образцов ФТДО и смесей ФТДО/ДНП (75/25) с содержанием ФТДО 75 вес.%.

Методика эксперимента

Исследуемые образцы ФТДО представляли собой прессованные при давлении 4000 бар до плотности 1,44 г/см³ таблетки диаметром $\varnothing = 3$ мм и толщиной $d = (420-450)$ мкм. Образцы смесей ФТДО/ДНП приготавливались кристаллизацией соответствующего расплава при температуре 20 °С. Источником возбуждения (инициирования) служил наносекундный ускоритель электронов ГИН-600 (эффективная энергия электронов ~ 250 кэВ, максимальный ток ~ 3 кА, длительность импульса тока на полувысоте ~ 15 нс). Плотность энергии электронного пучка H , выведенного в атмосферу, варьировалась в диапазоне (0,05–0,25) Дж/см² путем изменения расстояния от выходной фольги электронного ускорителя до образца. При облучении образцов в вакуумной камере H изменялась в пределах 0,05–60 Дж/см² путем изменения величины катод-анодного зазора и применением диафрагм. Кинетические характеристики катодолуминесценции (КЛ) ФТДО и продуктов взрывного разложения регистрировались с помощью измерительной системы на основе дифракционного монохроматора МДР-23, ФЭУ-84 и осциллографа Tektronix DPO 3034, связанного с компьютером. Полное временное разрешение системы регистрации составляет ~ 15 нс. Измерения проводились при

температуре 300 К. Интегральные спектры взрыва регистрировали с помощью оптоволоконного спектрометра AvaSpec 2048-2. Спектральный диапазон измерений 480–980 нм, спектральное разрешение $\sim 1,5$ нм.

Результаты и их обсуждение

Катодолуминесценция. Установлено, что облучение образцов ФТДО электронным пучком с плотностью энергии $H < 0,09$ Дж/см² сопровождается импульсной катодолуминесценцией (КЛ). Типичный спектр КЛ образцов ФТДО и ФТДО/ДНП (75/25), измеренный в момент облучения электронным пучком, приведен на рис. 1. Видно, что спектр КЛ состоит из одной широкой полосы излучения, максимум которой соответствует энергии 2,14 эВ (FWHM $\sim 0,36$ эВ, время затухания $t \leq 10$ нс).

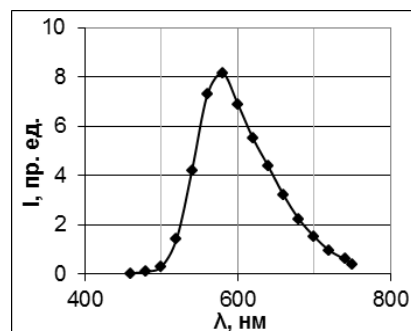


Рис. 1. Спектр катодолуминесценции ФТДО, измеренный при $H = 0,05$ Дж/см², $T = 300$ К.

При $H \geq 0,09$ Дж/см² наблюдается взрывное разложение образцов. Величина пороговой плотности энергии ФТДО близка к пороговой плотности инициирования азидов тяжелых металлов (АТМ), которая составляет 0,1 Дж/см². Кинетика взрывного свечения ФТДО при $H \sim 0,15$ Дж/см² представлена на рис. 2.

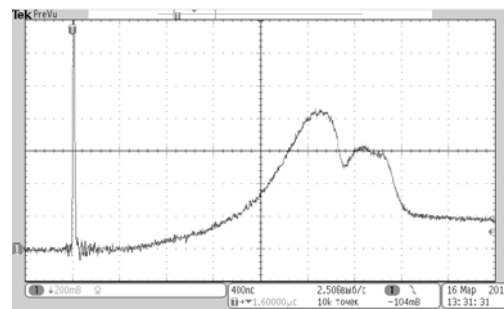


Рис. 2. Кинетика взрывного свечения чистого ФТДО при инициировании электронным пучком с плотностью энергии $H = 0,15$ Дж/см². Цена большого деления шкалы времени: 400 нс/дел.

Первый, короткий пик свечения на осциллограмме соответствует катодолюминесценции образца. Второй, длинновременной пик представляет собой свечение продуктов взрывного разложения, возникающее с задержкой $t_{\text{инд.}} \sim (1,0-1,2)$ мкс относительно момента облучения.

Увеличение плотности энергии СЭП в диапазоне $0,09 \leq H \leq 0,25$ Дж/см² приводит к монотонному уменьшению индукционного периода с 1200 до 30 нс при одновременном сокращении длительности импульса взрывного свечения. Зависимость длительности индукционного периода от плотности энергии СЭП приведена на рис. 3.

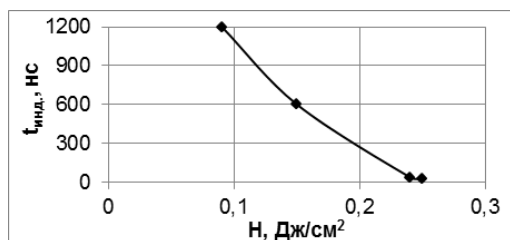


Рис. 3. Влияние плотности энергии электронного пучка на длительность индукционного периода чистого ФТДО.

При облучении электронным пучком флегматизированных образцов ФТДО/ДНП (75/25) взрывное превращение зарегистрировано лишь при максимальной плотности энергии $H \sim 50$ Дж/см². Типичная осциллограмма взрывного свечения ФТДО/ДНП (75/25) при свободном разлете плазмы взрыва приведена на рис. 4.

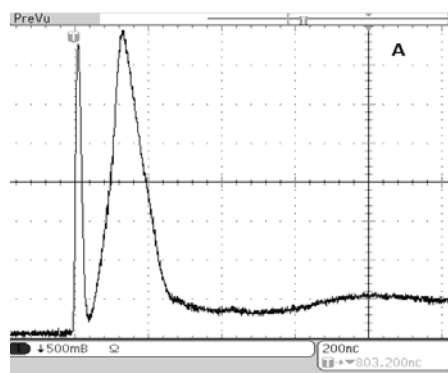


Рис. 4. Кинетика взрывного свечения чистого ФТДО/ДНП (75/25) при инициировании электронным пучком с плотностью энергии $H = 50$ Дж/см². Цена большого деления шкалы времени: 200 нс/дел.

Спектры свечения продуктов взрывного разложения. Установлено, что в спектрах плазмы взрыва исследуемых образцов наблюдается два вида свечения: линейчатое излучение атомов, входящих в состав взрывчатого вещества и подложки, на которой крепится образец, и свечение плотной низкотемпературной плазмы, имеющей сплошной спектр. Соотношение интенсивностей линейчатого и сплошного спектров определяется массой взрывчатого вещества, материалом подложки и условиями разлета плазменного факела (свободный разлет или торможение на преграде).

Эмиссионный спектр продуктов взрывного разложения чистого ФТДО при его креплении на подложке из алюминия, измеренный с помощью оптического спектрометра AvaSpec-2048-2, представлен на рис. 5. Видно, что наиболее интенсивными в спектрах взрывного свечения ФТДО являются линии атомов щелочных металлов: Na I: 588,99; 589,59; Li I: 670,78; K I: 766,49; 769,89 нм. Атомные линии Na I 588,99; 589,59 нм, вследствие недостаточного спектрального разрешения спектрометра AvaSpec-2048-2, регистрируются как одна.

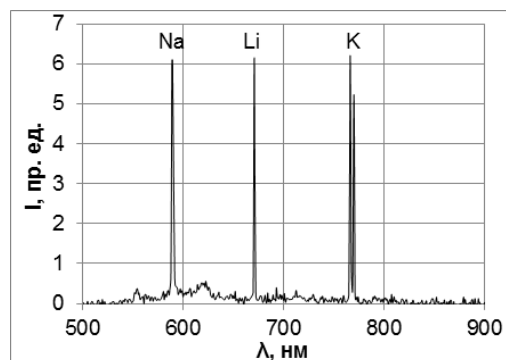


Рис. 5. Спектр взрывного свечения чистого ФТДО, расположенного на подложке из алюминия при инициировании электронным пучком.

Заключение

Изучено инициирование взрыва чистого ФТДО и кристаллизованной смеси ФТДО/ДНП (75/25) с помощью сильнотоочного электронного пучка. Измерены пороги инициирования взрывного разложения материалов. Установлено, что чувствительность чистого ФТДО к действию импульса электронного пучка близка к чувствительности азидов тяжелых металлов (AgN_3 , TlN_3), а чувствительность смеси ФТДО/ДНП близка к чувствительности тетранитрата пентаэритрита (ТЭНа). В отличие от АТМ в опытах на образцах чистого ФТДО обнаружена сильная зависимость времени задержки зажигания и длительности импульса взрывного свечения от плотности энергии электронного пучка.

Список литературы

1. Киселев В. Г., Грицан Н. П., Зарко В. Е. и др. Многоуровневое квантовое химическое вычисление энтальпии в образовании [1,2,5]oxadiazolo[3,4-e][1,2,3,4]-tetrazine-4,6-di-N-dioxide // Физика горения и взрыва. — 2007. — Т. 43, № 5. — С. 77–81.
2. Олешко В. И., Зарко В. Е., Лысык В. В. и др. Иницирование энергетических смесей на основе фуразанотетразиндиоксида электронным пучком // Известия вузов. Физика. — 2013. — Т. 56, № 12/2. — С. 63–68.